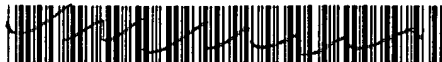


(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 881 790 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

02.12.1998 Bulletin 1998/49

(51) Int. Cl.⁶: H04B 10/17, H04J 14/02

(21) Numéro de dépôt: 98401252.6

(22) Date de dépôt: 27.05.1998

(84) Etats contractants désignés:

AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE

Etats d'extension désignés:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: 29.05.1997 FR 9706592

(71) Demandeur:

Alcatel Alsthom Compagnie Generale
d'Electricité
75088 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

• Jourdan, Amaury
92310 Sevres (FR)

• Sotom, Michel

75015 Paris (FR)

• Bruyere, Franck

75014 Paris (FR)

• Soulage, Guy

94400 Vitry sur Seine (FR)

(74) Mandataire:

Smith, Bradford Lee et al

COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL

Dépt. Propr. Industrielle,

30, avenue Kléber

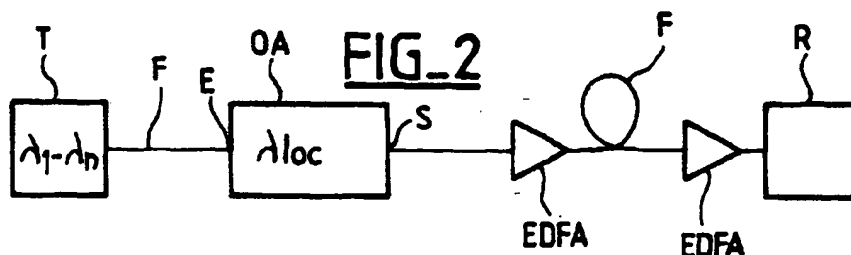
75116 Paris (FR)

(54) Système de transmission optique à compensation dynamique de la puissance transmise

(57) L'invention concerne un système à transmission optique comprenant une ligne de transmission comportant au moins un amplificateur à fibre optique. Selon l'invention il est prévu de coupler un amplificateur optique à gain stabilisé (OA) à l'entrée de la ligne (F). ledit amplificateur à gain stabilisé comprenant un oscillateur local apte à émettre une onde auxiliaire de compensation dont la longueur d'onde λ_{loc} est dans la

bande de gain de chaque amplificateur à fibre optique de la ligne. Il est prévu également de moduler le courant de pompe dudit amplificateur à gain stabilisé pour transporter des informations de service.

Application aux transmissions par fibres optiques.



Description

L'invention concerne un système de transmission optique à compensation dynamique de la puissance transmise et notamment un système de transmission par multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing).

Les lignes de transmissions optiques transportent aujourd'hui des signaux multiplexés en longueur d'onde. Ces signaux sont amplifiés tout le long de la transmission par des amplificateurs à fibres optiques.

La démarche actuelle consiste de plus en plus à envisager des solutions optiques pour faire l'ensemble de la transmission sur des réseaux de transmission.

Dans un réseau de transmission on a, outre les fonctions de transmission, des fonctions de routage, de configuration ou de reconfiguration pour acheminer l'information à un point donné de sortie du réseau.

Or lorsqu'on effectue des transmissions sur un réseau on est amené pour des raisons d'encombrement du trafic ou autre, à réaliser des reconfigurations à des endroits appropriés du réseau qui conduisent à changer le nombre de canaux de transmission qui se propagent sur les lignes de transmission optique et qui sont amplifiés par les amplificateurs à fibres optiques tout le long de ces lignes.

Les amplificateurs à fibres optiques et plus particulièrement les amplificateurs à fibres dopées à l'erbium sont utilisés sur les lignes de transmission optique car ils ne présentent pas de non-linéarité de gain en fonction de la puissance du signal d'entrée pour les fréquences de modulation des signaux utilisés dans les systèmes de télécommunication.

En effet le temps de récupération du gain dans un amplificateur à fibre dopée à l'erbium est supérieur à 0,1ms. Ce temps de récupération élevé procure une stabilisation du gain parce que celui-ci n'a pas le temps de remonter lorsque le signal passe d'un état haut à un état bas pour les fréquences de modulations utilisées dans le domaine des télécommunications qui sont de l'ordre de 100 MHz à 10 GHz.

Or il a été constaté que lorsque l'on change le nombre de canaux de transmission présents à l'entrée d'un amplificateur à fibre optique cela provoque une saturation ou une désaturation de cet amplificateur qui amène un phénomène transitoire. En effet, le gain de l'amplificateur varie de manière transitoire et la puissance totale du signal de sortie chute.

Ce phénomène est gênant car cela signifie que pendant un temps très court typiquement quelques dizaines de microsecondes, la puissance des canaux effectivement utilisés est modifiée ce qui malheureusement, peut conduire à des erreurs de transmission.

Pour résoudre ce problème, l'état de la technique antérieure propose un système dont le schéma de principe est représenté sur la figure 1.

Le terminal T représente un émetteur ou un noeud de routage du réseau et le terminal R représente un

récepteur ou un autre noeud de routage du réseau. Des amplificateurs à fibres EDFA sont présents dans des répéteurs placés sur tout le long de la ligne entre les points d'accès ou de sortie T et R.

Ce système fait intervenir une source laser $L(\lambda_c)$ placée en entrée de la ligne F et dont la puissance de sortie est asservie par l'intermédiaire de son courant de façon à ce que la puissance totale du signal utile et la puissance du signal émis par ce laser reste constante. Pour cela on récupère dans une boucle d'asservissement BA une faible partie de la puissance totale des signaux pour détecter au moyen du détecteur DP le niveau de puissance totale transmise sur la ligne et rétroagir sur le courant du laser L.

Le laser L est choisi de manière à avoir une longueur d'onde λ_c différente de celle des canaux utiles $\lambda_1 - \lambda_n$.

Ainsi, si par exemple l'on dispose de cinq canaux et que pour des raisons de routage trois de ces canaux sont supprimés, la boucle de régulation du laser va provoquer une augmentation de la puissance de sortie de ce dernier de manière à ce que la puissance des deux canaux restants et celle du laser corresponde à celle des cinq canaux initiaux.

Cette solution a pour inconvénient d'introduire un composant supplémentaire qui est une diode laser et une boucle électronique rapide de rétroaction comprenant un circuit de commande du laser. Cette solution est relativement complexe et onéreuse.

La présente invention permet de remédier à ces inconvénients et propose un système fiable et peu complexe.

La présente invention a pour objet un système de transmission optique comprenant une ligne de transmission comportant au moins un amplificateur à fibre optique, principalement caractérisé en ce que l'on couple un amplificateur optique à gain stabilisé à l'entrée de la ligne, ledit amplificateur optique à gain stabilisé comprenant un oscillateur local apte à émettre une onde auxiliaire de compensation dont la longueur d'onde λ_{loc} est dans la bande de gain de chaque amplificateur à fibre optique de la ligne.

Selon une autre caractéristique de l'invention l'amplificateur à gain stabilisé est un amplificateur optique à semi-conducteur comprenant un guide optique couplé à l'oscillateur local, ledit oscillateur comportant au moins un réseau distribué, dont la longueur d'onde de Bragg est égale à la longueur d'onde λ_{loc} choisie pour l'oscillation.

Selon une autre caractéristique, l'amplificateur à gain stabilisé est un amplificateur à fibre optique dopé par une terre rare, un courant de pompe étant injecté dans la fibre pour obtenir un milieu d'amplification, ledit amplificateur comprenant autour de ce milieu une cavité laser de longueur d'onde λ_{loc} choisie pour l'oscillation.

Dans une première variante, la cavité laser est obtenue par deux réseaux de Bragg placés autour du milieu amplificateur.

Dans une deuxième variante, la cavité est réalisée par une boucle optique couplée à l'amplificateur à fibre, comprenant un filtre centré à la longueur d'onde choisie pour l'oscillation λ_{loc} suivi d'un atténuateur.

Selon une autre caractéristique, l'invention s'applique au transport d'informations de service. A cette fin, le système comporte des moyens de modulation pour moduler le courant de pompe injecté dans l'amplificateur à gain stabilisé à partir des informations de service à transmettre et des moyens de détection et de traitement du signal à la longueur d'onde locale λ_{loc} modulé.

Selon une autre caractéristique de ce système de transmission optique, la ligne de transmission comporte une pluralité d'amplificateurs optiques à gain stabilisé, et on prévoit des moyens de modulation pour moduler le courant de pompe injecté dans chaque amplificateur à gain stabilisé et des moyens de détection du signal à la longueur d'onde locale λ_{loc} et de traitement de ce signal.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui est faite et qui est donnée à titre illustratif et non limitatif et en regard des dessins sur lesquels :

- la figure 1 représente le schéma de principe d'un système de transmission selon l'art antérieur,
- la figure 2 représente le schéma de principe d'un système de transmission selon l'invention,
- la figure 3, illustre les évolutions de puissance en entrée et en sortie du système,
- la figure 4, représente un schéma d'un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 5, représente un schéma d'un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 6, représente le schéma d'une variante selon la figure 5,
- la figure 7, représente le schéma d'une autre variante selon l'invention,
- la figure 8, représente le schéma d'un système de transmission selon une application particulière de l'invention.

Dans toute la description les mêmes éléments portent les mêmes références.

Un système de transmission selon l'invention est illustré par le schéma de la figure 2.

Ce système comporte un amplificateur optique à gain stabilisé OA placé après l'émetteur T (ou après chaque noeud de routage si T est un noeud de routage). Cet amplificateur pourra avantageusement remplacer l'amplificateur à fibre optique placé habituellement à cet endroit.

Cet amplificateur optique à gain stabilisé OA est choisi de manière à générer une oscillation locale λ_{loc} de longueur d'onde différente de l'une des longueurs d'ondes des canaux de transmission de λ_1 à λ_n .

La puissance totale de sortie de l'amplificateur à gain stabilisé correspond à la puissance des signaux

des canaux appliqués en entrée à laquelle s'ajoute la puissance du signal de l'onde générée par la cavité laser de l'amplificateur OA.

On rappelle qu'un amplificateur optique à gain stabilisé est un amplificateur dans lequel on crée une rétroaction de façon à ce qu'une cavité laser se mette en place autour du milieu amplificateur, pour qu'une oscillation se produise à l'intérieur de cette cavité. Lorsqu'une oscillation se produit à l'intérieur de la cavité on est en présence d'un fonctionnement en oscillateur laser. Le fonctionnement d'un oscillateur laser est tel que tant que l'on se trouve au dessus du seuil de ce laser le gain de la cavité reste constant.

Le schéma de la figure 3 permet d'illustrer le phénomène de compensation produit par l'amplificateur OA sur la puissance totale de sortie.

Cette figure illustre l'évolution en fonction de la puissance d'entrée de la puissance de sortie du signal utile PV et de la puissance de sortie totale PT.

L'amplificateur étant un amplificateur à gain stabilisé son gain est constant. La puissance du signal utile PV varie de façon linéaire en fonction du gain par conséquent, à une augmentation de la puissance d'entrée correspond une augmentation de la puissance de sortie jusqu'au moment où le seuil du laser est dépassé. Lorsque le seuil est dépassé, le laser s'éteint, il n'y a plus de stabilisation du gain, l'amplificateur sature (point S sur la courbe).

On peut voir également sur cette courbe que la puissance PL de l'oscillateur local suit une courbe inverse. Lorsque l'on s'approche du seuil, la puissance de l'oscillateur local chute jusqu'à zéro.

La somme des deux courbes de puissance correspond à la courbe de la puissance totale PT de sortie de l'amplificateur. Cette puissance PT est constante comme on peut le voir sur cette figure.

Le régime d'utilisation de ce composant est choisi en dessous du seuil de la cavité laser de façon à pouvoir avoir une stabilisation du gain en restant toutefois proche de la zone de saturation.

Ainsi le gain étant stabilisé, les variations de puissance du signal d'entrée n'ont pas d'influence sur le gain appliqué à ce signal et la puissance de sortie est constante (signal utile et oscillation locale).

La longueur d'onde λ_{loc} de la cavité laser doit être dans la bande de gain des amplificateurs de la ligne de transmission.

En effet, pour que la puissance totale se propage dans toute la ligne d'amplification et que cette puissance reste constante à travers l'ensemble de la ligne il faut que le signal utile se propage en même temps que l'oscillation à travers toute la chaîne d'amplification.

D'autre part il faut que cette longueur d'onde soit distincte des longueurs d'ondes des canaux de transmission utilisés pour les signaux. Cela peut être obtenu en choisissant une longueur d'onde située en bord de bande (soit par exemple 1528 nm pour une bande qui est typiquement de 1530-1560 nm ou éventuellement

de 1530-1562 nm).

Une autre solution consiste à choisir une longueur d'onde située au milieu de la bande dans la mesure où cette bande présente un "trou" de plusieurs nm, une ou plusieurs longueur d'ondes n'étant pas prévues dans le peigne d'émission.

La longueur d'onde λ_{loc} est définie soit par construction lors de la réalisation de l'amplificateur soit par réglage, selon la nature de l'amplificateur utilisé.

L'amplificateur à gain stabilisé OA peut être réalisé selon un premier mode de réalisation au moyen d'un amplificateur à semi-conducteur et selon un deuxième mode au moyen d'un amplificateur à fibre optique. Ces deux modes de réalisation sont illustrés par les schémas représentés sur les figures 4 à 7 détaillées dans la suite de la description.

Outre le réglage de la longueur d'onde choisie pour l'oscillateur local on opère également à un réglage de la puissance de cet oscillateur local pour ne pas que cette puissance soit trop élevée par rapport à celle du signal. A cette fin il est proposé d'effectuer un réglage "gros-sier" puis un réglage "fin" de la puissance.

Le premier réglage "gros-sier" est opéré en plaçant un élément atténuateur fixe sur la longueur d'onde λ_{loc} . On utilisera par exemple un démultiplexeur ou un filtre sur la longueur d'onde λ_{loc} pour n'atténuer que le signal à cette longueur d'onde dans le cas des amplificateurs à fibres optiques. Ce réglage est fait en choisissant un élément présentant plus de réflectivité d'un côté que de l'autre dans le cas d'amplificateur à semi-conducteur.

Le réglage fin s'effectue en revanche en agissant sur le courant de pompe de l'amplificateur à gain stabilisé ou sur la puissance de pompe suivant qu'il s'agit d'un amplificateur semi-conducteur ou d'un amplificateur à fibre.

Selon un exemple de réalisation, un amplificateur à semi-conducteur a été représenté sur la figure 4 et comporte :

- deux électrodes parallèles 1 et 6, permettant d'injecter un courant électrique de pompage I,
- un substrat semi-conducteur 8 constitué d'un premier matériau semi-conducteur de type N, compris entre les électrodes 1 et 6,
- une couche de confinement 2, constituée du même premier matériau, mais avec un dopage P+ opposé à celui du substrat 8,
- un guide optique 3, actif sur toute sa longueur, et dont l'axe longitudinal est parallèle aux électrodes 1 et 6; constitué d'un second matériau semi-conducteur dont la maille est accordée avec celle du premier matériau et qui à un indice de réfraction plus grand que celui du premier matériau;
- un réseau distribué 4 s'étendant tout le long du guide 3, constitué d'une mince couche de matériau semi-conducteur d'indice plus élevé que celui du substrat 8 et gravé périodiquement dans une partie ou dans la totalité de l'épaisseur de cette couche;

- deux faces clivées 5 et 7, traitées antireflet, terminant le substrat 8, perpendiculairement à l'axe longitudinal du guide 3.

Le pas du réseau 4 est choisi de telle façon que la longueur d'onde de Bragg de ce réseau soit dans la plage spectrale d'amplification du matériau semi-conducteur du guide actif 3.

On trouvera une description plus détaillée d'un tel amplificateur dans la demande de brevet EP 0 639 876 incorporée ici par référence.

L'amplificateur à gain stabilisé peut être réalisé selon un deuxième mode de réalisation par un amplificateur à fibre optique dopé par une terre rare (de l'erbium), un courant de pompe I étant injecté dans la fibre pour obtenir le milieu amplificateur et une cavité laser étant créée autour de ce milieu amplificateur, soit au moyen d'une boucle optique B (cf. figure 7), soit en rajoutant des réseaux de Bragg gravés par exemple sur la fibre (cf. figures 5 et 6).

Une variante du mode de réalisation de la figure 5 est représentée sur la figure 6.

La figure 5, illustre un amplificateur à fibre à gain stabilisé basé sur l'utilisation de réseaux de Bragg R gravés (par exemple) sur la fibre optique. Un premier réseau est placé en entrée E de l'amplificateur OA. Le deuxième réseau est placé sur une fibre F' couplée par un coupleur optique C à la fibre F. Un atténuateur AT est placé entre le coupleur et le réseau R pour régler le gain ce qui donne une flexibilité sur la dynamique du composant. Ces réseaux R sont choisis, par construction, pour avoir la longueur d'onde λ_{loc} .

La pompe P de courant de pompe I est couplée optiquement à la fibre par un coupleur optique C.

La figure 6, illustre une variante équivalente à la réalisation représentée sur la figure 5, selon laquelle un réseau R (λ_{loc}) est placé sur la fibre de transmission F en sortie S du milieu amplificateur OA. Le deuxième réseau R est placé sur la fibre F' qui est couplée à la fibre F en entrée E du milieu amplificateur.

La figure 7, illustre un amplificateur à fibre à gain stabilisé basé sur une boucle optique B couplée à la fibre F par des coupleurs C, comportant un filtre accordable FI à la longueur d'onde λ_{loc} suivi d'un atténuateur AT pour régler le niveau de puissance du signal à la longueur d'onde λ_{loc} , réinjecté.

Selon une application particulière de l'invention on applique une modulation au courant de pompe de l'amplificateur à gain stabilisé de manière à créer une modulation de l'onde de la longueur d'onde de l'oscillation locale.

Une telle modulation peut être utilisée pour transporter par exemple des informations de service d'un terminal émetteur T à un terminal récepteur R ou d'un noeud de transmission à un autre noeud.

Cette modulation ne procure aucune perturbation du signal utile car le gain de l'amplificateur est stabilisé et qu'il est par conséquent indépendant du courant de

commande de l'amplificateur. Ainsi le fonctionnement normal de l'amplificateur est inchangé.

On place donc pour cela un modulateur M agissant sur le courant de pompe I de l'amplificateur OA1 placé à l'entrée de la ligne.

Un démultiplexeur DM à la longueur d'onde de service (de l'oscillateur local de l'amplificateur OA) est inséré avant l'amplificateur de ligne suivant. L'amplificateur de ligne suivant est un amplificateur optique placé en un point de sortie de la ligne : soit avant le terminal récepteur R, soit tout le long de la ligne avant chaque amplificateur de ligne OA2, etc..., comme cela est illustré par la figure 8.

Cependant pour cela, il conviendra de remplacer les amplificateurs à fibre de la ligne par des amplificateurs optiques à gain stabilisé.

Le démultiplexeur DM est suivi d'un dispositif effectuant la détection du signal λ_{loc} et le traitement du signal détecté pour:

- surveiller la qualité de la ligne entre deux amplificateurs;
- pour traiter les informations de service et ajouter de nouvelles informations sur la qualité de la ligne relatives à la liaison amont;
- pour moduler le courant de pompe de l'amplificateur suivant avec de nouvelles informations.

En sortie de ligne, le dispositif de détection et traitement T sera par exemple couplé à un dispositif d'analyse d'informations A transportés à cette longueur d'onde λ_{loc} . Les dispositifs de détection et traitement et d'analyse sont des dispositifs couramment utilisés pour de tels traitements.

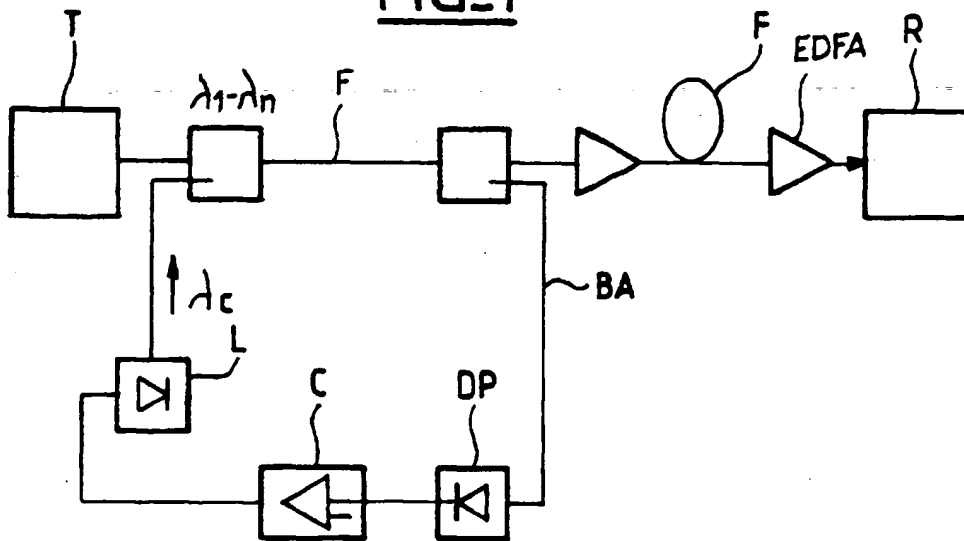
Revendications

1. Système à transmission optique comprenant une ligne de transmission comportant au moins un amplificateur à fibre optique, caractérisé en ce que l'on couple un amplificateur optique à gain stabilisé (OA) à l'entrée de la ligne (F), ledit amplificateur à gain stabilisé comprenant un oscillateur local apte à émettre une onde auxiliaire de compensation dont la longueur d'onde λ_{loc} est dans la bande de gain de chaque amplificateur à fibre optique de la ligne.
2. Système de transmission optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'amplificateur optique à gain stabilisé (OA) est un amplificateur optique à semi-conducteur comprenant un guide optique (3) couplé à l'oscillateur local, ledit oscillateur comportant au moins un réseau distribué (R), ayant une longueur d'onde de Bragg égale à la longueur d'onde λ_{loc} choisie pour l'oscillation.
3. Système de transmission optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'amplificateur à

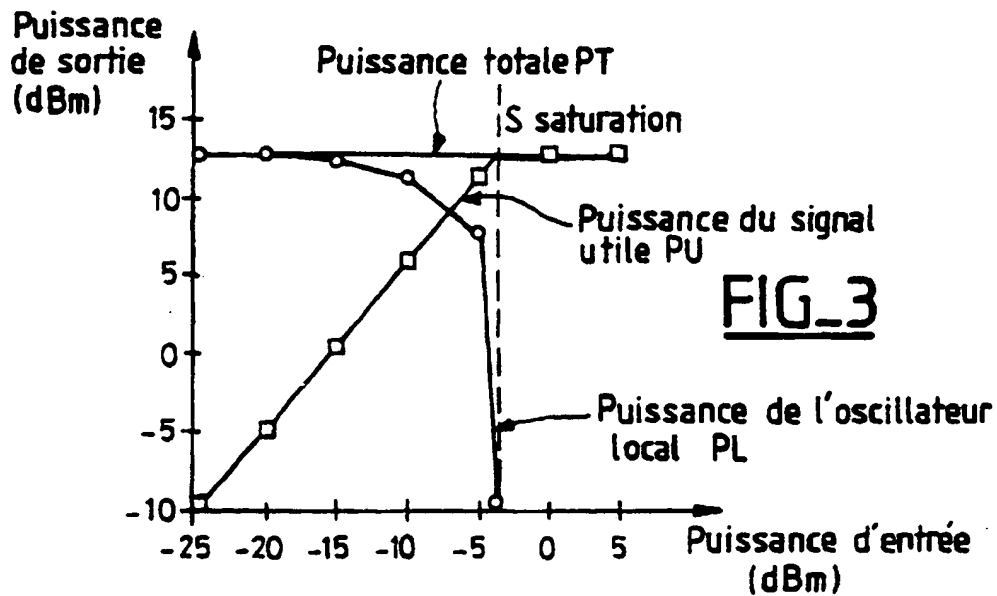
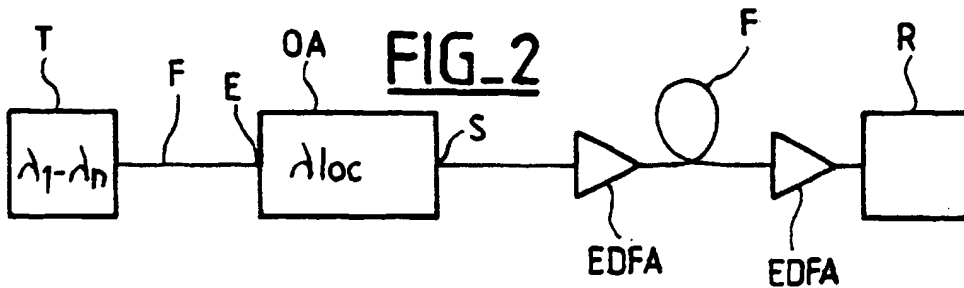
gain stabilisé (OA) est un amplificateur à fibre optique dopé par une terre rare, un courant de pompe (I) étant injecté dans la fibre (F) pour obtenir un milieu d'amplification, ledit amplificateur comprenant autour de ce milieu une cavité laser de longueur d'onde λ_{loc} choisie pour l'oscillation.

4. Système de transmission optique selon la revendication 3, caractérisé en ce que la cavité laser est obtenue par deux réseaux de Bragg placés autour du milieu amplificateur.
5. Système de transmission optique selon la revendication 3, caractérisé en ce que la cavité est réalisée par une boucle optique (BA) couplée à l'amplificateur à fibre, comprenant un filtre centré (FI) à la longueur d'onde choisie pour l'oscillation λ_{loc} suivi d'un atténuateur.
6. Système de transmission optique selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de modulation (M) pour moduler le courant de pompe injecté dans l'amplificateur à gain stabilisé placés à l'entrée de la ligne à partir d'informations de service à transmettre et des moyens de détection et de traitement (T) du signal à la longueur d'onde locale λ_{loc} modulé placés à des points de sortie de la ligne.
7. Système de transmission optique selon la revendication 6, caractérisé en ce que la ligne de transmission (F) comporte une pluralité d'amplificateurs optiques à gain stabilisé (OA), et en ce qu'il comporte des moyens de modulation (M) pour moduler le courant de pompe injecté dans chaque amplificateur à gain stabilisé et des moyens (T) de détection du signal à la longueur d'onde locale λ_{loc} et de traitement de ce signal.

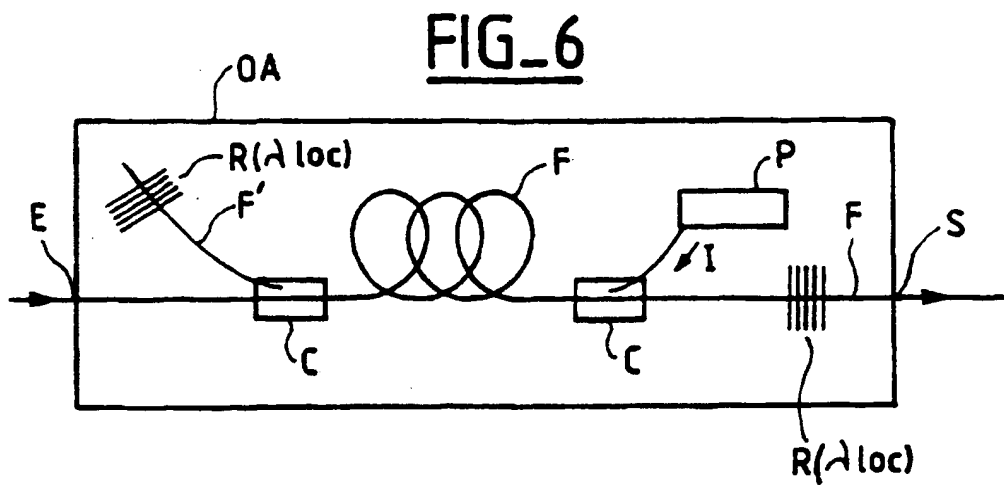
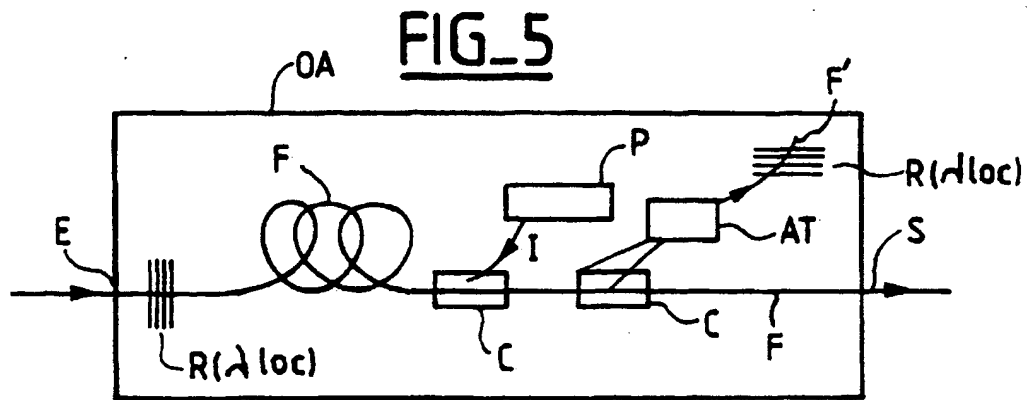
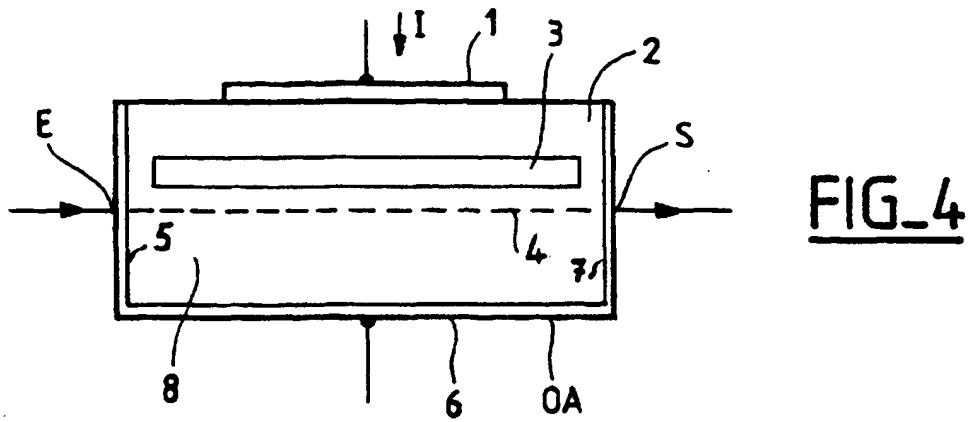
FIG_1



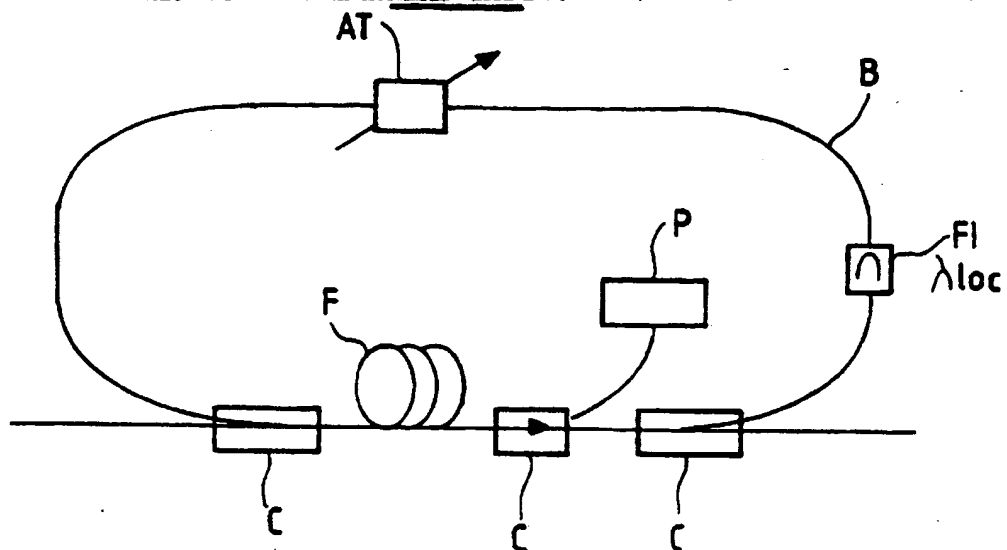
FIG_2



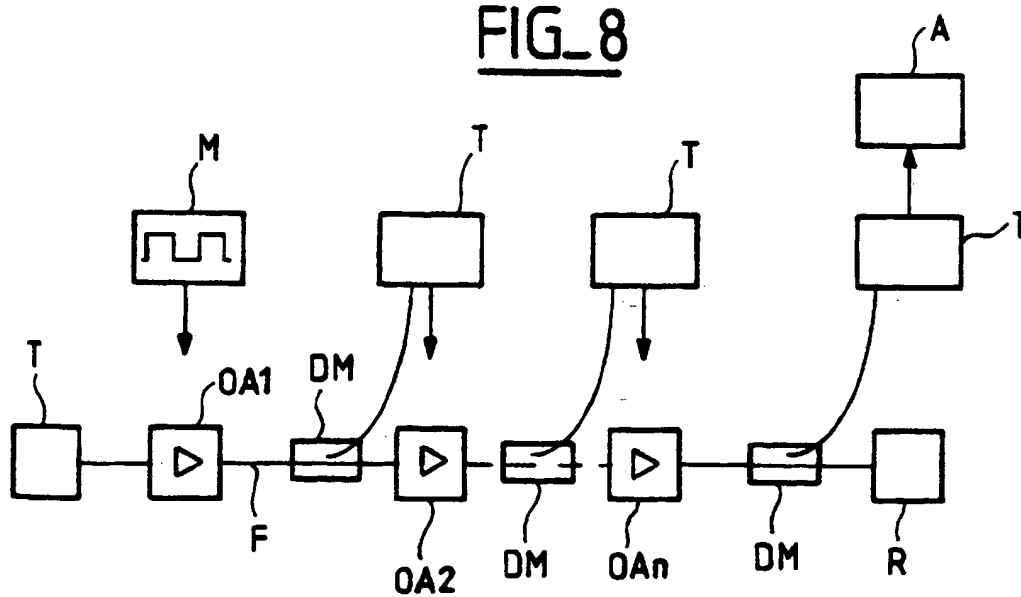
FIG_3



FIG_7



FIG_8





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 98 40 1252

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
A	SCHNABEL R ET AL: "WAVELENGTH CONVERSION AND SWITCHING OF HIGH SPEED DATA SIGNALS USING SEMICONDUCTOR LASER AMPLIFIERS" ELECTRONICS LETTERS, vol. 29, no. 23, 11 novembre 1993, page 2047/2048 XP000422190 * page 2047, colonne de gauche, dernier alinéa - page 2048, colonne de gauche, alinéa 1; figures 1,4 *	1,2,6	H04B10/17 H04J14/02
A,D	EP 0 639 876 A (ALCATEL NV) 22 février 1995 * abrégé; revendications 1,2; figures 1,2 *	2,4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			H04B H04J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 3 septembre 1998	Examineur Goudelis, M
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X particulièrement pertinent à lui seul Y particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A arrière-plan technologique O divulgation non-écrite P document intercalaire</p> <p>T théorie ou principe à la base de l'invention E document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D cité dans la demande L cité pour d'autres raisons & membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

THIS PAGE BLANK (USPTO)